

# DERİNDE YAŞAM

**PH seviyesinin 1 olduğu maden drenajları; antik lavların 1500 m derinlikleri; 3,2 km derinlikteki Güney Afrika altın madenlerinin boğucu sıcaklığı; buzlarla kaplı deniz suları ve yeraltı tuzlarının eski zamanlardan kalma deniz suyu çukurları... Gezegenimizin, bu en beklenmedik kuytu köşelerinde, yarıkların, çatlakların arasında, inanılmaz koşullar altında yaşamlarını sürdüren, belki de 250 milyon yıldan daha uzun bir süre boyunca, canlı ama uyku halinde kendilerini koruyan ya da kayaları kendilerine besin kaynağı edinen canlılar keşfediliyor.**

Yeni organizmaların keşfi, yaşamın kabul edilen sınıflandırılmasında, hâlâ bir takım değişiklikleri gerekli kılıyor. Özellikle, yaşamın en gizemli alemleri olan arkelere, yeni alt gruplar ekleneceğe benziyor. Daha önceden tanımlanmış, herhangi bir kategoriye girmeyen bu organizmalar, daha pek çok organizmanın bir yerlerde saklanıyor olabileceğine dair kuşku doğuruyor. Bir başka açıdan bakıldığında, her yeni edinilen bilgi, Mars'ta yaşam olup olmadığı konusundaki tartışmaları alevlendiriyor. Bunda, arkelerin keşfedilişinin rolü büyük. Çünkü, arkeler bu ortamlarda yaşamaya en uygun olan organizmalar. Eğer Mars'ta yaşam varsa ve bulunursa, inanılıyor ki bulunacak organizmalar, büyük olasılıkla arkelere benzeyecek.

Arkeler, bilinen üç ana hücre tipinin en yeni keşfedileni ve hâlâ en esrarengiz olanı. Diğerleri, ökaryotlar ve bakteriler. Arkeler, ilk olarak 1977 yılında, evrim biyolojisi konusunda bir otorite kabul edilen araştırmacı Carl Woese tarafından farkedilmiş. Aslında arkeler, bakterilerle birlikte dünyamızın en eski sahiplerinden. Yaşam sahnesine, yaklaşık üç buçuk milyar yıl önce çıktıkları tahmin ediliyor. Oysa,

onların farklı bir grup olduğu ve o güne kadar araştırılmamış habitatlarda da akrabalarının bulunduğu, daha çok yeni anlaşıldı. Bu nedenle, yüzyıllardır araştırılan diğer prokaryotik grup olan bakterilere oranla, haklarındaki bilgi oldukça az. Bunun sonucu olarak da, arkelerin sınıflandırması, fizyolojisi, biyokimyası gibi daha birçok özellikleri, yeni araştırmaların konusu olmakta ve gün ışığına çıkarılmayı beklemekte.

Mikroplar, suyun sıcaklığının, öldürücü limit olan 113 OC'nin altında olduğu her yerde gelişip büyüyebiliyorlar. Aslında çeşitli ülkelerden mikrobiyolog ve jeologlara göre, gezegenimizde yaşayan mikropların neredeyse tümü, toprak ve deniz zemininde gözlerden uzak bir şekilde yaşamlarını sürdürüyorlar. Belki de, tüm bazaltik okyanus kabuğunun birkaç kilometrelik en üst kısmı, bu küçük canlılarla kayıyor. Bu her tarafı kaplayan, sürekli ve dayanıklı yaşamın farkına varılması, konuklardan pek hoşlanmayan Mars yüzeyinin altında da, keşfedilmeyi bekleyen bir yaşamın olduğu düşüncesini canlı tutuyor. Ne var ki, kıta ve okyanus kabuklarıyla, deniz tortulları gibi, dünyanın derin alt yüzeylerini

inceleyen araştırmacılar, bu kadar iyimser değiller. Derinlerde yaşam buluyorlar, ama bu, kayanın kendisi gibi daha az çekici olan bölgesel enerji kaynaklarını kullanmaktan çok, Güneş'ten gelen enerjinin dolaylı yollarla kullanıldığı bir yaşama benziyor. Derinlerde yaşayan mikroplar, yüzeydeki bitkilerden gelen organik maddelerden beslenirken bile açlık çekerek belli bir uyku ya da uyuşukluk dönemine giriyorlar. Fotosentetik yakıt malzemesinin olmadığı durumlarda, yok olabiliyorlar.

Güney Afrika altın madenlerindeki mikrobik yaşamı inceleyen gruba başkanlık eden hidrojeolog Tullis Onstott, sıcaklığın elverişli olduğu zamanlarda bile, hızla akıp giden bir yaşam bulamadıklarını söylüyor. Mikrobik yaşam, yeni koşullara son derece iyi uyum sağlayabilen, sürekliliği olan, dayanıklı bir yaşam gibi gözükse de, derinlerde çok yavaş ilerliyor. Bu düşük tempolu yaşam tarzı, okyanus kabuğunda da bulunmuş. Ancak, yaşamın nerede ve nasıl var olduğunu ve geliştiğini saptamak için, yerin derinliklerini araştırın bu araştırmacılar, mikrobik toplulukları, kendi özgün yaşam ortamlarında incelemek zorundalar.

## Hidrojenle Beslenenler

ABD'nin Idaho eyaletindeki sıcak su kaynaklarının altında, görünüşe göre yüzeyden oldukça bağımsız bir şekilde yaşayan bir mikrobik topluluğun keşfi de, Mars'ta yaşam olabileceği düşüncelerini körüklüyor. Hidrojeolog Francis Chappelle ve meslektaşları, 200 metre derinlikteki, 6 milyon yaşındaki volkanik kül yataklarının arasından çıkan suların faydalanmışlar. 60 °C'deki bu suların, oldukça yüksek düzeylerde hidrojen gazı ve hidrojenle yaşayan bir mikroorganizma topluluğu bulmuşlar.

Birkaç farklı tipteki DNA analizine göre, sıcak kaynak mikroplarının % 95'inden fazlası arke. Gen analizleri, bu arkelerin % 95'inin gen modellerini açığa çıkartmış. Bu arkeler, hidrojenle karbon dioksitin tepkimesiyle metan üreterek enerji elde eden metan üreticilere, oldukça yakın gözüküyorlar ve hidrojenin nanomolar derişimlerinde, çok iyi gelişebiliyorlar. Normalde dünyamızda az bulunan bu gaz, tahminen suyla kaya arasındaki bir çeşit etkileşim sonucu oluşuyor. Bu, mikrobiyolog Todd Stevens ve jeokimyacı James McKinley'in, Kolombiya ırmağının bazalt lavlarında, 1500 metre derinliklerdeki suyun içinde bulunan hidrojeni açıklama şekli. Bazaltın içindeki demir, sudaki hidrojeni ayrıştırarak bir hidrojen gazı stoku oluşturuyor. Bu hipoteze göre, derinliklerde yaşamın devamını sağlayan hidrojen gazının üretimi, su ve bazaltın bir araya geldiği her yerde gerçekleşiyor. Bu hipotez, Mars'taki olası yaşam için de büyük anlam taşıyor; çünkü, kırmızı gezegenin büyük çoğunluğunu bazalt oluşturuyor. Ancak, mikrobiyologlar su ve bazalttan hidrojen üretimi için, son derece düşük bir pH düzeyinin gerekli olduğunu saptamışlar. Ayrıca, gen dizilimleri incelendiğinde, Kolombiya ırmağındaki bazalt mikroorganizmalarının yalnızca % 3'ünün hidrojen tüketen metanogenler olduğu saptanmış. Diğer mikroorganizmalarsa, farklı yollardan yaşamlarını sürdürüyorlar. Örneğin, yüzeyden ya da lavlar arasındaki fosil toprak tabakalarından taşınan, erimiş organik maddelerden yararlanıyor olmaları, bir olasılık.

Mikrobiyolog Chappelle, Idaho'daki organizmaların, yaşamları için kullandıkları hidrojenin, her yerde gerçekle-



Atlantik Okyanusu'nda bulunun bir sıcak su kaynağı

şebilecek su ve kaya tepkimesine bağlı olmadığını söylüyor. Çünkü, bu organizmaların yaşamlarını sağladıkları hidrojen, aktif fayların çatlaklar boyunca hareketi ve kayaları ezmesi sonucu açığa çıkıyor. Kırılmalar, mineral yüzeylerde hidrojen gazı üretebilmek için sudan hidrojeni çıkartan aktif bölgeler yaratıyor. Fayların günlük hareketleri olmasa, yeni kaya yüzeyleri oluşmayacak ve hidrojen çok ender olarak açığa çıkacak. Chappelle, aynı bölgede, bir düzineden fazla sıcak su kaynağını incelemiş ve buralarda hidrojen çok karbona dayalı mikrobik topluluklar keşfetmiş. Chappelle, hidrojene dayalı yaşam biçiminin çok yaygın olmadığını düşünüyor. Bu görüşse, Mars keşiflerinin umudunu kırıcı yönde.

## Granitler ve Altın Madenleri Arasında

Bazı kabuksal kayaların doğal radyoaktivitesi sonucu oluşabilecek hidrojen, yüzeyden bağımsız, büyük kıta-

sal bir biyosfer için, başka bir hidrojen kaynağını oluşturabilir. Uranyum gibi Dünya'nın iç kısımlarını ısıtan radyoaktif elementler, kabuğun granit gibi silika açısından zengin kayalarında daha fazla bulunuyor. Mikrobiyolog Karsten Pedersen, İsveç'te bulunan 400 metre derinlikteki yeraltı laboratuvarında, 2 milyon yıllık granitlerle çalışıyor. Pedersen, bu derinliklerdeki granit kırıklarından alınan örneklerde, pek çok mikroorganizma bulmuş. Her bir mililitrede 10.000 ila 100.000 hücre. Bu sayı, temiz yüzey sularında bulunabilecek sayıya neredeyse eşit. Pedersen, aynı zamanda nanomolar dan çok, pek çok mikromolar derişim bulmuş. Bu mikroorganizmaların bir kısmını, hidrojen tüketen metanojenler oluşturuyor. Pedersen'in bilemediği, yaşamın hangi hızla ilerlediği; ama, oldukça yavaş ilerlediğini tahmin ediyor. Araştırmacılar, derin altyüzeylerin herhangi bir yerinde gördükleri mikroorganizmaların yalnızca % 0,1'ini kültür ortamında üretebilmişler. En uygun koşullar altında bile, bu



Yellowstone Ulusal Parkı'ndaki bu ve buna benzer havuzlar, pek çok arke türüne ev sahipliği yapıyor.

mikroorganizmaları, etkin laboratuvar kültürlerinde bir gecede üretilen hücrelerin yoğunluğuna getirmek, haftalar, hatta aylar almış.

Onstott'la birlikte 30 kadar kişinin çalıştığı Güney Afrika altın madenlerindeki araştırmalarda, bu yaşamın ne kadar yavaş ve seyrek olduğu görülebiliyor. Ekip, Pedersen'in benzer de-

rinliklerdeki çalışmalarıyla kıyaslanabilir yoğunlukta mikroorganizmalar bulmuş. 3,2 kilometre derinlerdeyse, DNA'ları sayesinde, hipertermofil (çok yüksek sıcaklıkları seven) arkelerden biri olarak tanımlanan bazı hücreler bulmuşlar. Ancak biyokütle, yüzeylerden aşağılara doğru indikçe hızla azalıyor. Daha derinlere indikçe yaşamın

## Arkelere Bakış

1960'larda, biyologların, yaşamın 80 OC üstündeki sıcaklıklara dayanamayacağını düşündüğü bir ortamda, Thomas D. Brock, ABD'deki Yellowstone Ulusal Parkında (tektonik yeryüzü hareketlerinin sürdüğü, gazleriyle ünlü bir bölge) sıcak su kaynaklarında *Thermus aquaticus* adını verdiği, hipertermofilik (aşırı sıcak sever) bir bakteri buldu. Brock'un bulunduğu organizma her ne kadar arke olmasa da, termofilik arkelerin keşfedilmelerinde önemli role sahipti. Çünkü bu sayede yaşamın varolamayacağı düşünülen habitatlarda da yaşam arama çabaları başladı ve benzer birçok arke keşfedildi.

Arkeler, ilk keşfedildikleri 1970'li yıllarda, eski bakteriler anlamına gelen "arkebakteriler" olarak tanımlandılar. Çünkü, bu canlıların doğadan yalıtılan ilk örneklerinin yaşadıkları ortamlar, oksijensiz, bol kükürtlü ve sıcaklığın yüksek olduğu yerlerdi. Bunlar dünyamızda yaşamın başladığı kabul edilen ilk zamanlardaki yeryüzü koşullarına benziyordu. Ayrıca bu mikroorganizmalar, bakteriler gibi, prokaryottu ve onlarla aynı ortamlarda da yaşayabiliyorlardı. Bu nedenle arkelere, arkebakteriler (eski bakteriler), bakterilere de öbakteriler yani "gerçek bakteriler" adı verilmişti. Moleküler biyoloji sayesinde onların bakterilerden farklı bir prokaryot grup olduğu anlaşıldı ve bugün onlara arkeler deniliyor. Arkelerin en ilgi çeken yanlarından biri, çok zorlu koşulların hakim olduğu yerlerde yaşamaları. Sıcak su kaynakları gibi suyun kaynama noktasına en yakın sıcaklıkta olduğu yerler, aşırı asitli ya da tuzlu sular ya da buzullar bu canlıların yaşam alanı.

Arkelerin keşfi, bilim dünyasındaki ilk etkisini canlıların sınıflandırılması ve gerçek bir soy ağacının oluşturulmasında gösterdi. Çünkü bu sayede, bütün küçük yapıli mikropların birbirleriyle yakından ilişkili olmadıkları anlaşıldı. Carl Woese ve arkadaşları bu ayrımı farkederek, tüm canlıları, Öbakteriler, Ökaryotlar ve Arkebakteriler olarak, üç ayrı kategori altında topladılar.

Arkeler, Woese tarafından Krenarkeota, Öyarkeota ve Korarkeota olarak üç farklı gruba ayrıldılar. Metan üreticileri, aşırı sıcak ya da tuz seven arke türlerini içine alan öyarkeota en iyi bilinen grup. Krenarkeota, bilinen tüm canlılardan daha yüksek sıcaklıklarda yaşayan türleri içerse de, bu organizmanın toprağın içinde ve daha ılımlı sıcaklıklarda yaşayan birçok türü keşfedildi. Korarkeota grubuysa, içlerinde en ilginç olanı. Çünkü, bu grubun bildiğimiz anlamda herhangi bir üyesi, henüz canlı olarak yalıtılabilmemiş değil. Günümüzde arkeler metan üreticiler, sülfat indirgeyiciler, aşırı tuzcullar, hücre duvarı olmayanlar ve aşırı sıcak severler (sülfür metabolize edenler) olarak beş gruba ayrılıyor.

*Methanococcus jannaschii*, tam nükleotid dizisi açıklanan arkelerden. Bu arke, Pasifik Okyanusu'nun 2600 metre derinliğinde bulunan hidrotermal bir kanaldan yalıtılmış. Bu derinlikte bir hidrotermal kanalda basınç 200 atmosferden, sıcaklık 90 OC'den yüksek değerlere ulaşılıyor. Bu değerler göz önüne alındığında, böyle bir canlının dünyamızda ilk oluşan canlılarla birçok ortak nokta taşıyabileceği akla yatkın geliyor. Araştırma sonucunda çok daha ilginç ve şaşırtıcı bir bulgu da var: bu arkenin genomunun %40'ı, diğer canlılarda örneği olmayan özgün dizilerden oluşuyor.

işaretlerinin azalması Onstott'u şaşırtmış. Çünkü, canlıların dayanabileceği en üst sıcaklık sınırı olan 113 OC'ye ancak madenlerin en alt kısımlarında ulaşılıyor. Yaşam için gerekli yakıt olan hidrojenin derişimi de, buralarda milyonlarca kez artıyor.

Öyle görünüyor ki, Onstott'a göre, bu derinliklerde, mikroorganizmaların kullandığından çok daha fazla enerji var. Çok miktarda yakıt olduğu halde, bu yakıtı kullanmaya yarayacak oksijen gibi bir oksidasyon elementi bulunmuyor. Bu yüzden Onstott bu derinliklerdeki mikroorganizmaların ne yaptıklarını merak ediyor ve tekrar canlandırmayacak şekilde uykuda olabileceklerini düşünüyor.

## Yarı Ölü, Yarı Canlı

Araştırmacılar, derinlerdeki yaşamın bu yarı ölüm durumuna nasıl geçtiğini bulmak için, derin biyosferin bir başka büyük bölümü olan, okyanus tortullarını da inceliyorlar. Tüm okyanus tortulları, mikroorganizmaların beslenebileceği farklı miktarlarda organik maddelerle dolu. Ancak, deniz tabanının birkaç santimetre altında, bu yakıtı yakmak için gerekli olan oksijen tükeniyor. Bu durumda, deniz suyunda bulunan erimiş sülfat, çökeltili boyunca aşağılara doğru yayıldığı için, oksijenin yerine geçiyor. Sülfatın aşağı doğru yayılmasıyla, mikroorganizmalar tarafından tüketimi arasında bir dengenin varlığı, tortulun derinliğiyle değişen sülfat derişiminden anlaşılıyor. Bu, deniz tabanının altındaki yaşamın, ya da en azından sülfat oksidasyon elementi olarak kullanan yaşamın, hangi hızla yaşandığını anlamak için iyi bir ölçü. Rhode Island Üniversitesi'nden (URI) denizbilimci Steven D'Hondt, Scott Rutherford ve Arthur Spivack derinlerdeki yaşamın hızını anlayabilmek için, tüm dünyadaki tortul alanlarında yapılan sülfat ölçümlerini değerlendirmişler ve bu canlıların ya çok az nefes aldıkları ya da genelde hareketsiz oldukları sonucuna varmışlar. Bir başka denizbilimci, John Parkes ise, 850 metre derinlikteki, 14 milyon yıllık tortulların içinde bulunan hücreleri incelemiş. Araştırmacı, gördüğü hücrelerin çoğunun yaşadığını ve iyi durumda olduğunu söylüyor. URI grubunun sülfat dışındaki oksi-

dasyon elementlerini dikkate almadığını söyleyen Parkes, demir gibi diğer tortul minerallerinin de oksidasyona katkıda bulunabileceğini belirtiyor. Derinlerdeki yaşamın, kendisini milyonlarca yıl boyunca kapalı tutabilme yetisine sahip olduğunu, bu arada moleküler yapısını koruyacağını, ama büyüemeyeceğini de sözlerine ekliyor.

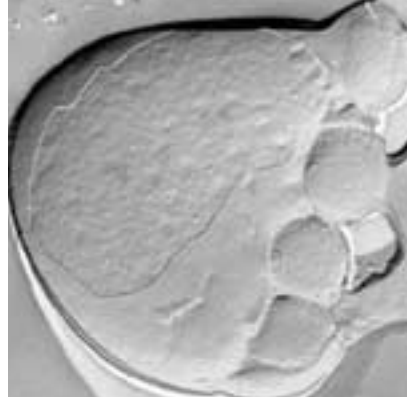
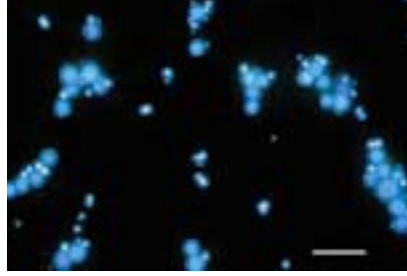
D'Hondt ve meslektaşları Parkes'in bu görüşleri doğrultusunda tekrar araştırmalara başlamışlar ve sadece sülfatın değil, manganez ve demirin de, enerji üretiminde oksidasyon elementi olarak kullanıldığı yolunda, kesin kanıtlar bulmuşlar. Aynı zamanda, kuvvetli oksidanlar olan oksijen ve nitratın da, tortulun alttaki 30-40 metrelik kısmında, altta bulunan kabuktan sızdığı da bulgular arasında.

## Okyanus Kabuğu

Derin biyosferin üçüncü alanı olan ve gezegenimizin üçte ikisini kaplayan okyanus kabuğu, kıta kabuğundan ya da tortul tabakalarından daha da gizemli. Deniz dibindeki sıcak su kaynaklarında, mikrobik bir yaşamın var olduğu ilk olarak 1979 yılında farke edildi. Bu bulguya dair kesin kanıtlarsa, 1991 yılında elde edilebildi. Daha sonra, sıcak su kaynaklarındaki termofilik (sıcak sever) mikroorganizmaların keşfiyle, deniz tabanının altında bir biyosferin var olduğu saptaması yapıldı. Ancak, bu okyanus kabuğu biyosferinin ne kadar büyük olduğu hâlâ belirsiz. Mikroplar, küresel okyanus boyunca 60.000 km uzanan sistemde aktif durumdadır ve deniz suyu sıcaklığının magmanın etkisiyle yüz derecenin çok çok üstüne çıktığı sırt tepelerinde bile yaşamın yolunu buluyorlar. Bu yerlerden uzaklaştıkça, kabuk soğumaya başlıyor, ve derece düştükçe, mikrobik yaşam da azalıyor. Örneğin, incelemelere göre, Juan de Fuca sırtının 90 km doğusunda suyun sıcaklığı 60 OC'ye düşüyor. Mikrobiyologlar bu bölgede normal deniz suyunda bulunandan daha az hücre bulabilmişler.

## Tanımlama Yöntemleri

Çoğu mikrobik olan yaşam çeşitliliğinde, mikropları kültürle üretmek her zaman mümkün olmuyor. Bu yüzden bu tür organizmalar hakkında bil-



*Nanoarchaeum*'lar, başka bir arke türü olan *Ignicoccus* hücrelerine tutunarak yaşıyorlar

gi edinmek biraz zor. Bu canlıların, laboratuvarlarda üzerlerinde çalışılabilen az sayıda mikropla ilişkilerinin hangi yöntemlerle belirlenebileceği önemli bir soru. Cevapsa, polimeraz zincir reaksiyonu, yani kısaca "PCR". Bu teknik, çevreden toplanmış örneklerden elde edilmiş DNA'yı çoğaltmak için kullanılıyor. Daha sonra, çoğaltılan DNA'nın baz dizilimi belirleniyor. Dizileri birbirleriyle ve veritabanında stoklananlarla karşılaştırmak, doğru mikrobik çeşitliliğin bir ölçütünün elde edilmesini sağlıyor.

Hücrelerdeki protein sentezinden sorumlu ribozomlardaki küçük altbirimlerin RNA'larını (SSU rRNA) kodlayan genler, çoğaltma, sıralama ve karşılaştırma için en uygun yapılar. Çünkü, ribozomlar herhangi bir organizmanın hayatta kalması için gerekliler. Bu yüzden, tüm organizmalar en azından bir ribozomal RNA (rRNA) geni taşıyor. rRNA'lar, ribozomların yapı ve işlevlerinde önemli roller oynayan, ana yapısal elementler ve ribozom ağırlığının yaklaşık % 65'ini oluşturuyorlar. Prokaryotik hücrelerde 3, ökaryotik hücrelerdeyse 4 çeşit rRNA bulunuyor. rRNA gen dizilimleri, dünya üzerindeki 3-4 milyar yıllık yaşam tarihi boyunca oldukça az değişime uğramışlar. Bu özellikleriyle rRNA'lar canlıların sınıflandırılmasında kolaylık sağlıyorlar. Örneğin, bakterilerden farklı ol-

dukları pek çok alanda kabul edilen arkelerin keşfi de, rRNA dizilimlerinin analizi sayesinde gerçekleşmiş.

## Nanoarkeota: Yeni Arke Dalı

İzlanda açıklarında, deniz altında yeni keşfedilen bir canlı da, 60-70 milyon yıl önce soylarının tükendiği sanılan ancak, 1938 yılında hâlâ yaşadıkları anlaşılan efsane balık latimeryalar ya da diğer makroskopik "yaşayan fosiller" kadar dikkate değer bulunuyor. Çünkü bu canlının keşfi, ilk olarak canlıların doğru çeşitliliğini açıklamada kullanılan yöntemlerin, hâlâ yetersiz kaldığını gösteriyor. Bu keşif, ikinci olarak, bu canlının ya çok ilkel ya da evrimle büyük bir değişim geçirmiş olduğunu da gösteriyor. Son nedense, bu yeni tanımlanan canlının, arkeler içinde yeni bir grup yaratılacağına işaret etmesi.

Regensburg Üniversitesi Mikrobiyoloji Bölümü'nden Dr. Harald Huber ve arkadaşlarının *Nanoarchaeum equitans* olarak adlandırdıkları, bu 400 nanometrelilik esrarengiz küresel mikropçuklar, yaklaşık 100 OC sıcaklık, oksijensiz bir atmosfer, sülfür ve volkanik gazlardan oluşan ortamda yetişiyorlar. Bu koşullar, dünyanın yaklaşık 3,8 milyar yıl önceki koşullarıyla örtüşüyor. Bu yüzden *Nanoarchaeum*'ların, yaşamın oldukça ilkel bir formunu temsil ediyor olabilecekleri düşünülüyor. Belki de, birer yaşayan fosil olarak tanımlanabilirler. *Nanoarchaeum*'ların içerdikleri DNA moleküllerinin toplam uzunluğuyorsa kabaca 500 kilobaz, yani 500.000 baz çifti. Bu, büyük olasılıkla, bilinen en küçük prokaryotik hücre genomu.

*Nanoarchaeum*'lar, rRNA'larının görülmemiş dizilimlerine bağlı olarak, evrimsel ilişkileri temelinde, bakterilerin değil, arkelerin arasında yer alıyorlar. Ancak, bilinen herhangi bir arke grubuna dahil edilemeyeceklerini, bu yüzden de yeni bir dallanma oluşturacakları düşünülüyor.

Meltem Yenal Coşkun

**Kaynaklar**  
R.A.Kerr, "Deep Life in the Slow, Slow Lane", Science, 10 Mayıs 2002  
Y.Boucher, W.F.Doolittle, "Something new under the sea", Nature, 2 Mayıs 2002  
<http://www.geocities.com>  
[http://gmn.tigr.org/articles/05\\_02/undersea\\_creature.shtml](http://gmn.tigr.org/articles/05_02/undersea_creature.shtml)  
<http://www.biologie.uni-regensburg.de/Mikrobio/Stetter/Gruppen/hhuber-e.html>